

# КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГЕТЕРУВАННЯ

Москаль Д.М., Герасимчук С.Ю.

Тернопільська філія Європейського університету,

e-mail: [stanigerasimchuk@yahoo.com](mailto:stanigerasimchuk@yahoo.com)

Основними проблемами, які стоять перед сучасною мікроелектронікою, є одержання напівпровідникового матеріалу з високим ступенем досконалості і збереження заданих властивостей при високотемпературних та інших технологічних обробках. Особлива увага приділяється швидкодифундуючим домішкам типу Au, Fe, Cu, які, маючи малий коефіцієнт сегрегації, приводять до виділення домішок у вигляді преципітатів, що стимулює додаткове дефектоутворення. Для запобігання неконтрольованому дефектоутворенню і перерозподілу домішок застосовуються методи гетерування [1,2]. Суть цих методів - у створенні умов для видалення домішок та дефектів з активної області кристалу і подальшим їх закріпленням у ділянках, які не є активними елементами приладу.

Ми розглянемо три типи процесів гетерування, які є актуальними для кремнію, - основного матеріалу сучасної мікроелектроніки.

1. Розглянемо домішку досить великої розчинності у вузлах ґраток кремнію, і також великим коефіцієнтом дифузії по міжвузлах. Загальновідомим прикладом цього випадку є золото. Щоб реалізувати гетерування Au, потрібно його виштовхнути з вузлів та забезпечити відповідний стік міжвузлового Au на поверхню. Це може бути забезпечено завдяки відомому kick-out (виштовхувальному) механізму з подальшою швидкою дифузією. Процес іде згідно з реакцією:



Тут друга реакція (захоплення Au вакансіями) пригнічена великою концентрацією міжвузлового кремнію саме у тій частині зразка, де відбувається міграція золота. Ми припускаємо, що в об'ємі Si пластини відсутні інші види пасток для атомів, що мігрують (за винятком вакансій). Коефіцієнт дифузії золота вищий, ніж міжвузлового Si, через це реалізується специфічний профіль розподілу домішки, яка гетерується, схожий на «імпульс, що біжить». При цьому спостерігається поступове розширення зони, очищеної від домішок [3].

На рис. 1 наведено розподіл Au і Si для трьох часів процесу, коли коефіцієнт швидкості реакції малий, та (при  $t=30 \text{ хв}$ ) коли він на порядок більший. Як видно, дифузійні оцінки товщини зони дають досить добре наближення до точно розрахованих товщин. Сформована очищена зона, розташована поблизу зворотної сторони пластини, забезпечує зростання ефективної величини  $L_d$  для носіїв заряду, незважаючи на те, що біля робочої поверхні пластини залишається деякий збагачений домішкою шар.

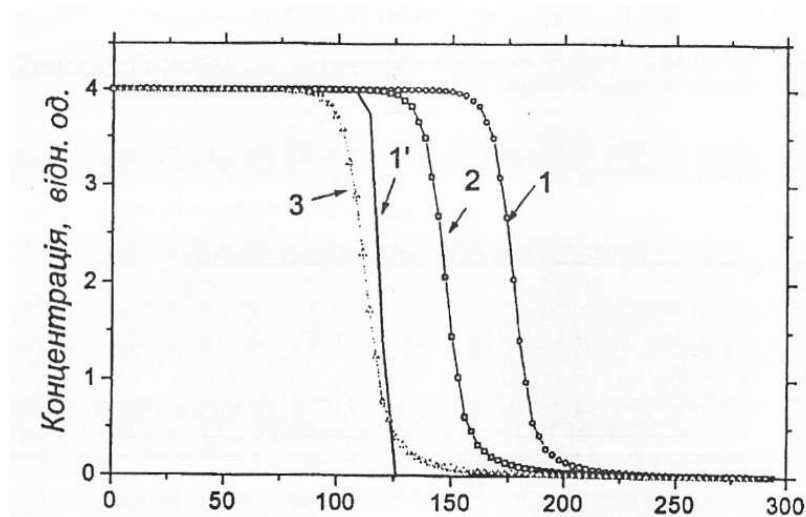


Рис. 1 - Гетерування золота. Криві 1, 1':  $t=30$  хв, крива 2:  $t=1$  год, крива 3:  $t=2$  год. Криві 1, 2, 3 – уповільнена реакція kick-out'у. Крива 1' - прискорена реакція kick-out'у.  $T=900^\circ$

2. Маємо справу з домішкою, локалізованою, в основному, у міжвузлах. Вона, як правило, має велику дифузійну рухливість, але на її міграцію міжвузловий Si ніяк не впливає. Відомим та актуальним прикладом такої домішки є залізо. Як було показано в роботі [4], двострумова (швидка та повільна) дифузія може бути реалізована для цієї домішки. Ці додаткові особливості (захоплення та вивільнення) залежать від якості та домішкового складу кремнієвої пластини. Результати розрахунків приведені на рис. 2, де зображено профілі розподілу домішки для трьох часів процесу - 5, 15, 30 хв. Довжина дифузії для цих часів дорівнює відповідно 173, 300 та 424 мкм. Таким чином, дійсно, 30 хв (без захоплення) достатньо для повного очищення пластини. У випадку захоплення / вивільнення досить велика кількість заліза залишається у пластині і після 30 хв гетерування. Тільки після одногодинного процесу спостерігається задовільне очищення.

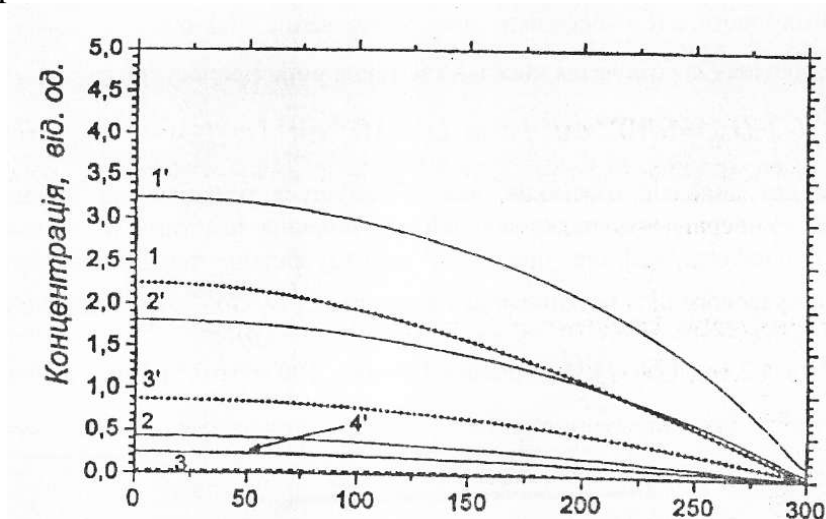


Рис. 2 - Гетерування заліза. Криві 1, 1':  $t=5$  хв, криві 2, 2':  $t=15$  хв, криві 3, 3':  $t=30$  хв, крива 4':  $t=1$  год. Криві 1, 2, 3 - випадок міжвузлової дифузії. Криві 1', 2', 3', 4' - випадок міжвузлової дифузії, яка супроводжується процесами захоплення/вивільнення.  $T=900^\circ$

3. У цьому випадку ми враховуємо присутність у кремнії об'ємного гетера, створеного преципітатами  $\text{SiO}_2$ . Таким чином, така домішка як залізо, рухаючись крізь пластину, захоплюється преципітатами. Її вивільнення можливе тільки після розпаду цих преципітатів, наприклад через взаємодію із міжвузловим кремнієм. У протилежному разі домішка залишається у зразку і буде впливати на електрофізичні параметри. У цьому (третьому) випадку знову стає важлива роль гетера як джерела міжвузлового кремнію.

На рис. 3 зображено профілі розподілу домішки Fe (як у вузлах, так і у міжвузлах) у Si пластині для 3-х різних часів гетерування – 15, 30, та 45 хв. Після 1 години процесу спостерігається повне очищення. При цьому, як і у випадку гетерування Au, спостерігається характерний профіль домішки типу «імпульсу, що біжить».

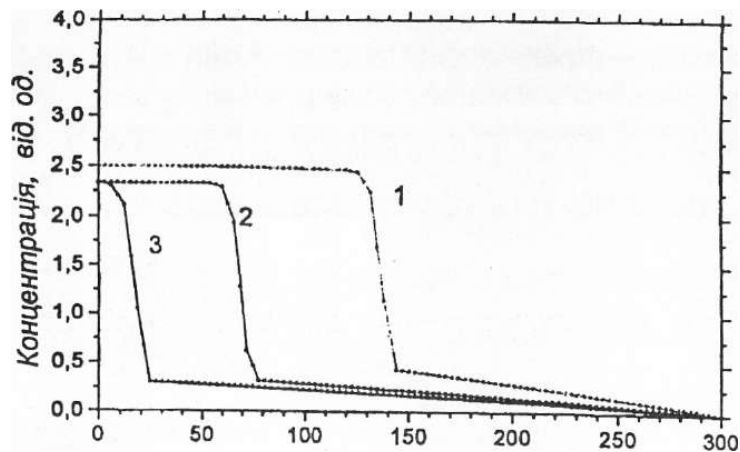


Рис. 3 - Гетерування заліза у пластині, яка містить включення  $\text{SiO}_2$ :  
1 -  $t=15$  хв; 2 -  $t=30$  хв; 3 -  $t=45$  хв

1. Литовченко В.Г. Эффект анизотропного гетерирования в планарных структурах / В.Г. Литовченко, Б.Н. Романюк // ФТП.- 1983.- Т. 17, №1.- С. 50-53.
2. Исследование гетерационных характеристик пленок кремния, выращенных с использованием радиационных гетерных методов: (Заключительный отчет).- Тернопольский медицинский институт (руководитель темы Д.М. Москаль).- Тернополь, 1986. - 50 с.
3. Bronner C.B., Plummer J.D. // Mat. Res. Soc. Symp. Proc.- 1995.- Vol. 36.- P. 49.
4. Болтакс Б.И. Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках. - Л.: Наука, 1975. - 110 с.
5. Атомная диффузия в полупроводниках / (под ред. А.Шоу) Гл. 5. Диффузия в кремнии и германии. - М.: Мир, 1975. - С.248.